

寒冷地における乾田直播水稻の出芽・苗立ちに関連した形質の評価

古畑昌巳

(農研機構中央農業総合研究センター北陸研究センター)

要旨：本研究では国内外 138 品種・系統のイネを供試して、乾田直播栽培における低温乾燥土中出芽性および出芽関連形質について評価を行った。その結果、低温乾燥土中播種条件における出芽速度と播種後 35 日目の出芽率および初期生育量との間には高い正の相関関係が認められた。この出芽速度と嫌気発芽条件での鞘葉の伸長速度との間には有意な相関関係は認められず、低温乾燥土中出芽性の良否に嫌気発芽条件での鞘葉の伸長性は寄与していないことが示唆された。また、この出芽速度と発芽速度との間には有意な正の相関関係が認められ、発芽の遅速が出芽の遅速に影響し、最終的な出芽・苗立ち率および初期生育量が異なることが示唆されたことから、早期の発芽が乾田直播栽培の出芽・苗立ち向上にとって重要であると考えられた。

キーワード：イネ、寒冷地、乾田直播、出芽、発芽、品種。

我が国の移植栽培では育苗および田植え作業が稲作全労働時間の 1/4 を占めている（農林水産省 2014a）ため、直播栽培導入による育苗の省略が稲作の省力・低コスト化につながるものと期待されている。しかし、直播栽培は一部の先導的農家により行われているのみで一般的な技術として普及しておらず、直播栽培の普及面積は水稻栽培面積全体の 1.5% である。その原因として、水田に直接播種するために出芽・苗立ちが不安定であること、移植に比較して登熟期に倒伏しやすいために収量が不安定であることなどがあげられる。また、全国的水稻の直播栽培面積の推移をみると（農林水産省 2014b）、湛水直播栽培では 2002 年の約 6776 ha が 2012 年には約 15152 ha に増加したのに対して、乾田直播栽培では 2002 年の約 4762 ha が 2012 年には約 8479 ha と湛水直播栽培に比べて普及面積増加は停滞ぎみである。

乾田直播の深播（播種深が 5 cm より深い）条件の出芽・苗立ちについては古くから報告されており、深播における土壌と環境条件と幼芽伸長性との関係（井之上・片山 1966, 井之上ら 1966, 1967, 井之上・穴山 1971）、深播条件では低位節間の伸長が出芽率との間に有意な正の相関関係があること（沢ら 1971, 海妻ら 1972）、アメリカ稲は日本稲に比べて出芽の早さ、深播出芽性、初期伸長性に優れていること（滝田 1987）などの報告がある。現在の乾田直播栽培では、不耕起 V 溝直播栽培技術（愛知県農業試験場 2007）が広く普及して、ブラウ耕・グレーンドリル播種体系の普及も進められており（東北農業研究センター・岩手県農業研究センター 2014）、不耕起 V 溝直播栽培では 3~5 cm, ブラウ耕・グレーンドリル播種体系では 1~3 cm 程度の深さで安定的に播種され、深播きとなることは少ない。しかしながら深播きではない乾田直播水稻の出芽・苗立ち向上に寄与する形質についての情報は不足している。これに関して、白土・松葉（1996a, 1996b）は、乾田直播の出芽を初

過程に分け解析を行っている。その結果、初・幼芽含水率と出芽係数（出芽歩合 / 平均出芽日数）との間には有意な正の相関関係があること（白土・松葉 1996a）、出芽に優れた品種では発根が早く種子根長が長いこと（白土・松葉 1996b）を報告している。また、乾燥土中出芽性のスクリーニングを行った結果、バングラディッシュ産の「Moulla Topa」の出芽率が最も高く、「Gaiya Rate Bhasunamathe」の出芽日数が最も短かったこと（Shiratsuchi ら 2001）、20% 発芽日数（20% の個体が発芽するまでの日数）と、乾燥土壌条件での 20% 出芽日数（20% の個体が出芽するまでの日数）との間には有意な正の相関関係があったこと、乾燥土壌条件での幼芽の伸長速度と 20% 出芽日数との間には有意な負の相関関係があったこと（白土ら 1998）が報告されている。白土ら（1998）の報告から、乾燥土壌中での発芽能力および幼芽の伸長能力が乾田直播水稻の出芽の遅速に寄与していることが推測されるが、白土らの試験報告はいずれも 22℃ 条件での結果であり、平均気温が 15℃ あるいはそれを下回る条件でも播種されている東北、北陸地方にもこの考え方を適用できるか明らかにされていない。さらに、湛水土中直播水稻の出芽・苗立ち向上に寄与する形質として、嫌気条件における鞘葉の伸長速度が報告されている（古畑ら 2007, 2012）。一方、乾田直播は湛水土中直播水稻と同様に土中に播種されるが、嫌気条件での鞘葉伸長性が乾田直播水稻の出芽・苗立ち向上に寄与するか明らかではない。そのため、本研究では寒冷地で浅播き（播種深が 5 cm 以下）条件となる乾田直播栽培を想定して、低温乾燥土中出芽検定を行うと同時に低温乾燥土中出芽性向上に寄与する可能性のある幾つかの形質について調査を行った。

材料と方法

1. 低温乾燥土中における出芽評価

北陸研究センターの圃場（新潟県上越市、細粒強グライ

第1表 試験に供試した品種・系統.

| 原産地 | 品種・系統名 | 原産地 | 品種・系統名 | 原産地 | 品種・系統名 | 原産地 | 品種・系統名 |
|-----|-------------------------|-----|-----------|-----|-----------|-----|-----------|
| F | Akula | A | 愛知 46 号 | C | 台中 45 | A | ふくさもち |
| F | Arroz da Terra | B | 青森もち 14 | C | 太白イネ | A | フクノハナ |
| F | ASD1 | B | 赤毛 | B | 宝 | A | ふくひびき |
| F | Aurinaldola | A | あきさかり | B | 竹成 | B | 不作不知 |
| E | Blue Bonnet | A | あきたこまち | A | 中国飼 189 号 | E | 房吉 |
| E | Calotoc | A | 秋晴 | C | 長香稻 | A | 藤阪 5 号 |
| E | Carlose76 | A | アケボノ | A | てんたかく | A | フジヒカリ |
| D | Danahara | B | 朝日 | A | 東北 132 号 | A | べこあおば |
| D | Fortuna I-133 | A | 石川 12 号 | A | トドロキワセ | A | べこごのみ |
| D | Gaiya Rate Bhasunamathe | A | 越南 242 号 | A | トヨニシキ | A | 北陸飼 192 号 |
| F | Italica Livorno | A | 奥羽 331 号 | A | どんとこい | A | 北陸 193 号 |
| F | Jahanov | A | オオスミ | A | なつあおば | A | 北陸 202 号 |
| D | Jave-14 Java | A | オオチカラ | A | ナツハタモチ | A | 北陸 204 号 |
| D | Kaeu N1255 | A | オクマサリ | A | にこまる | A | 北陸 218 号 |
| D | Ketang Nangka | B | 雄町 | A | ニシアオバ | A | 北陸 PL3 |
| E | Lady Wright | C | 嘉農セン 11 号 | A | 日本海 | A | 星の光 |
| D | Lakhi Jhota | B | 亀治 | A | 日本晴 | A | マンリョウ |
| E | Lemont | A | 関東 PL13 | A | ニホンマサリ | A | ミサトハタモチ |
| F | Luxor | A | キヨハタモチ | A | 農林 1 号 | A | ミズハタモチ |
| E | M201 | A | きらら 395 | A | 農林 6 号 | C | 密陽 42 号 |
| E | M202 | B | 銀坊主 | A | 農林 8 号 | A | ミルキークイン |
| E | M302 | B | 銀坊主崎 1 号 | A | 農林 17 号 | B | 紫高野坊主 |
| F | Neo Vialone | A | クサノホシ | A | 農林 36 号 | A | 萌えみのり |
| F | Opale | A | クサブエ | A | 農林 37 号 | A | モミロマン |
| A | RM645 | A | こしいぶき | A | はえぬき | A | 森田早生 |
| E | S201 | A | 寿 | A | ハタニシキ | A | 山形 22 号 |
| D | Simanoek | A | ササニシキ | A | 初星 | A | 夢あおば |
| F | Skorospelyj | C | 三系 0 | A | ハナエチゼン | A | ゆめさかり |
| E | Star Bonnet | A | 白千本 | A | ハバタキ | A | リーフスター |
| C | Ta Hung Ku | B | シルキーパール | A | はまさり | A | レイホウ |
| F | Us Ros269 | A | スノーパール | A | はやまさり | A | レイメイ |
| D | Yabani Pearl | A | スプライス | A | はやゆき | A | わせじまん |
| D | Z61 | A | 千秋 | A | ひとめぼれ | A | ワラベハタモチ |
| E | Zenith | A | 千秋楽 | A | ヒノヒカリ | | |
| B | 愛国 | B | 染分 | A | ヒヨクモチ | | |

原産地は以下のように分類した。A：日本栽培種・系統，B：日本在来種，C：韓国・中国・台湾，D：その他アジア・アフリカ，E：アメリカ，F：イタリア・ロシア。

土)で2010年に採種し、5℃密封条件で保管していた国内外の水稲138品種・系統を供試した(第1表)。この中には、湛水直播条件で出芽性の優れる品種・系統として、「Arroz da Terra」(Ogiwara and Terashima 2001)、「ASD1」(Biswas and Yamauchi 1997)、「Italica Livorno」(萩原 1993)、「Ta Hung Ku」(太田ら 2003)、「北陸 PL3」,「関東 PL13」(太田ら 2004)、「越南 242 号」(田野井ら 2011)が含まれている。また、乾田直播条件で出芽性が優れる品種として、「Gaiya Rate Bhasunamathe」(Shiratsuchi ら 2001)が含まれている。

本試験は、反復ごとに2012年5月14日～9月7日の期間内に行った。北陸研究センター(新潟県上越市)内の水田土壌(細粒強グライ土)を風乾砕土して、容器に密封保管しておいた土壌を実験に用いた。Shiratsuchi ら(2001)の方法に準じて、カルバーコーティングマシンを利用して、乾燥土壌1kgあたりに100mLの加水を行い、水ポテンシャル $-1.00 \sim -0.72$ MPaの土壌を作成した。コンテナ(幅19cm×奥行34cm×深さ15cm)に4cmの厚さで土壌を入れた後に軽く鎮圧して、1品種・系統当たり1列10粒

第2表 低温乾燥土中出芽検定での出芽・苗立ちについて原産地別の平均値.

| 原産地 | n | 出芽速度 (/日) | 出芽率 (%) | 苗立ち率 (%) | 地上部乾物重 (mg/個体) |
|-------------|----|---------------------|--------------------|--------------------|-------------------|
| 日本栽培種・系統 | 84 | 0.038 ^a | 69.7 ^a | 69.5 ^a | 4.0 ^a |
| 日本在来種 | 14 | 0.046 ^b | 72.6 ^{ab} | 72.6 ^{ab} | 5.2 ^{ab} |
| 韓国・中国・台湾 | 7 | 0.049 ^{bc} | 87.1 ^b | 86.7 ^b | 7.0 ^{bc} |
| その他アジア・アフリカ | 10 | 0.053 ^c | 73.7 ^{ab} | 73.7 ^{ab} | 7.1 ^{bc} |
| アメリカ | 12 | 0.050 ^{bc} | 81.4 ^b | 81.4 ^b | 7.4 ^{bc} |
| イタリア・ロシア | 11 | 0.051 ^{bc} | 85.6 ^b | 84.9 ^b | 8.1 ^c |

同一英文字は、各項目について異なる原産地間で5%水準の有意差が無いことを示す (Tukey 法).

を1反復として、コンテナあたり10品種・系統の乾粕を播種した。反復は3とし、各反復が同一コンテナ内に播種されないように設定した。播種後に軽く鎮圧した後に3cmの厚さで覆土を行い、上部から約260 kg/m²の加重を行い鎮圧した。また、播種後のコンテナ内に光が透過するように厚さ5mmの透明アクリル板をコンテナ上部に寄せ、明条件(約100 μmol m⁻² s⁻¹)12時間、暗条件12時間、平均気温15℃(明条件20℃、暗条件10℃)となるように設定した恒温器内に静置した。調査期間中、出芽個体数、第1葉抽出個体数、苗立ち(第2葉抽出)個体数の調査を播種後35日間毎日行った。また、出芽個体数のデータを使って1日当たりの平均出芽個体数を数量化するため、同じイネ科植物であるヒエ類の出芽の様相を数量化する手法(山末2001)を適用して、以下の解析を行った。すなわち、播種後日数をt、日別の出芽数をnとして、平均出芽速度(/日) = $\Sigma n / \Sigma (t \cdot n)$ を求めた。さらに、播種後35日目の地上部乾物重を測定した。なお、調査期間中に透明アクリル板とコンテナとの隙間から水分が蒸発して土壌表面の明らかな乾燥(白乾化)が進んだため、調査時に霧吹きで土壌表面を白乾しない程度に湿らせたが、調査期間中の土壌水分データ測定は行っていない。さらに、本試験では出芽の時点では第1葉を抽出しており、多くの個体がその後、苗立ち個体に移行した。

2. 低温条件下における発芽、鞘葉伸長性および種子形質の評価

供試品種・系統は1. 低温乾燥土中における出芽評価と同じである。また、低温条件下における発芽および鞘葉伸長性の評価温度は、既報(佐々木1968, 高橋1977, 小高・安部1988)に準じて15℃に設定した。各品種・系統の種子の千粒重(水分12%程度)を3反復で調査し、10粒・3反復で初めの長さおよび幅を測定して初めの長幅比を求めた。また、湿った濾紙を敷いたシャーレ内に約100粒入れ、15℃・暗条件となる恒温器に置床した。置床後14日目まで毎日発芽率を3反復(3シャーレ)調査し、試験Iの山末(2001)の手法を用いて、平均発芽速度を計算した。さらに、事前にオートクレーブを用いて120℃・20分処理することによって脱気した後に密封状態で室温になるまで冷

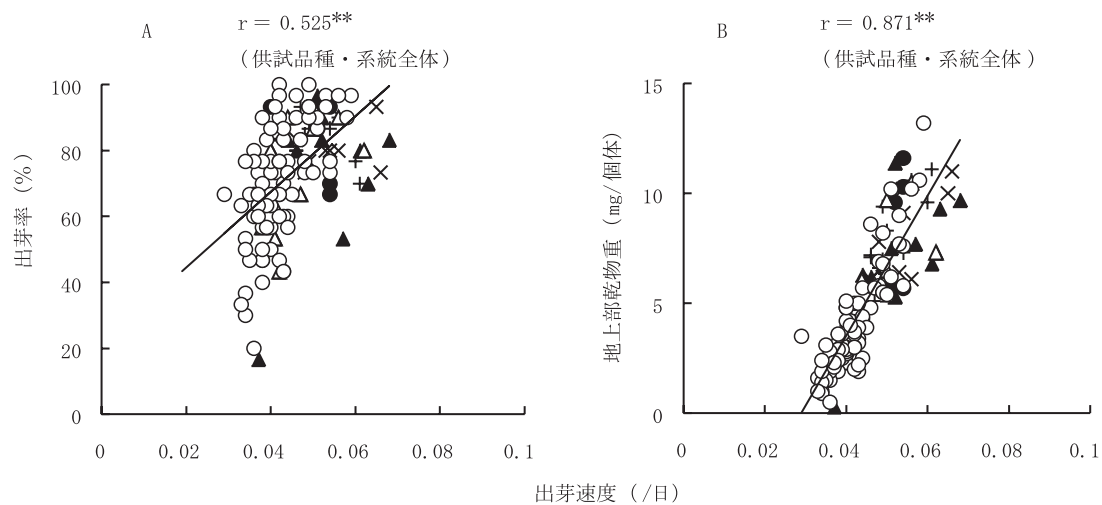
却した蒸留水を準備した。種子(乾粕)を100 mLのフラスコに20粒ずつ入れた後に脱気した蒸留水を満たし、密封して15℃・暗条件となる恒温器に静置した。静置後14日目に取り出して鞘葉長を測定し、1瓶内の20個体の平均値を求め、さらにこれらの3反復(3瓶)の平均値を算出して、各品種・系統の鞘葉の嫌気条件での伸長速度を(1日あたりの伸長量)を求めた。なお、発芽試験は2012年2月17日~3月16日、鞘葉伸長性の試験は2012年6月4日~7月23日の期間内に反復ごとに行った。

結 果

供試した品種・系統の低温乾燥土中出芽検定での出芽・苗立ちを原産地別に示した(第2表)。原産地別の出芽率の平均値は69.7~87.1%であった。韓国・中国・台湾品種、アメリカ品種およびイタリア・ロシア品種は高い傾向を示し、日本栽培種・系統、日本在来種およびその他アジア・アフリカ品種で低い傾向を示した。出芽率が95%を越えたのは、「Arroz da Terra」(イタリア)、「Yabani Pearl」(エジプト)、「中国飼189号」(日本)、「ニシアオバ」(日本)、「ミサトハタモチ」(日本)、「リーフスター」(日本)の6品種・系統であった。また、苗立ち率は出芽率とほぼ同じ数値となり、出芽率と同様の傾向を示した。原産地別の出芽速度は、日本栽培種・系統で最も遅かった。また、地上部乾物重は、韓国・中国・台湾、その他のアジア・アフリカ、アメリカおよびイタリア・ロシアの品種で大きく、日本栽培種・系統と日本在来種では小さかった。

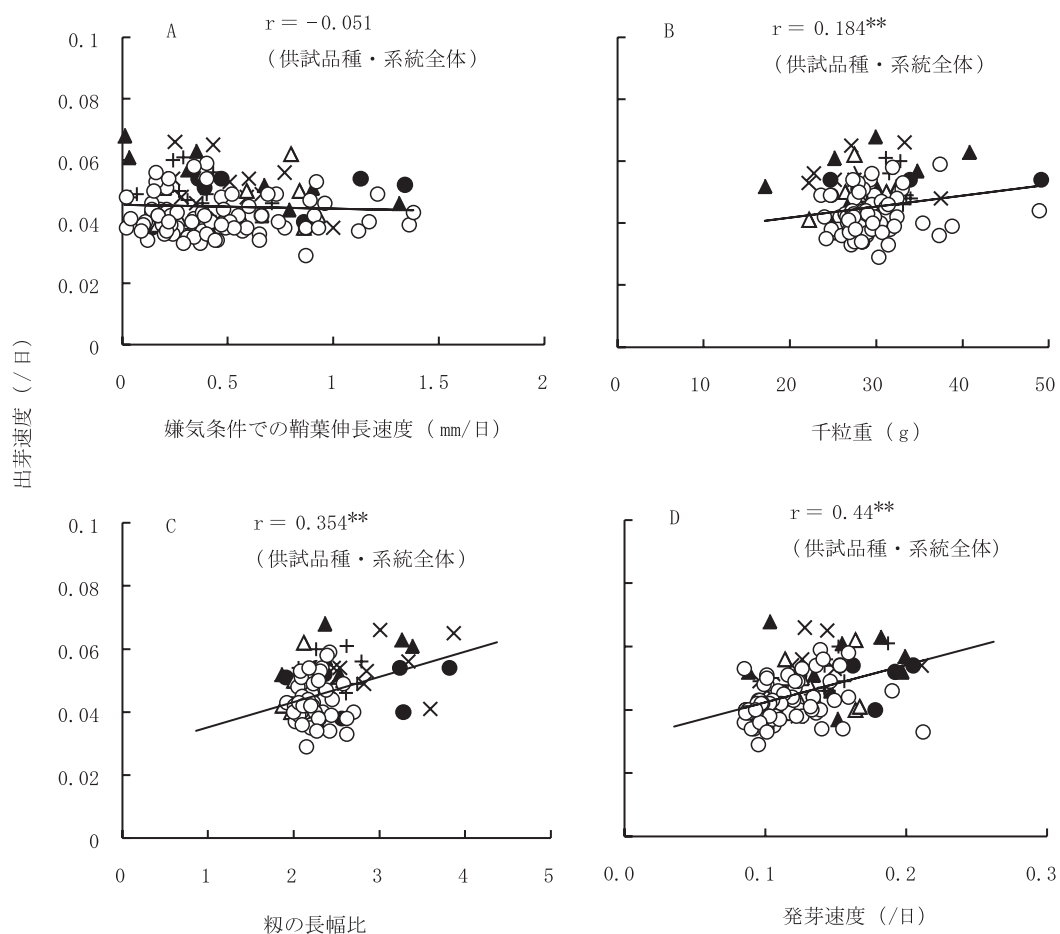
低温乾燥土中出芽検定での出芽速度と播種後35日目の出芽率との関係を第1図Aに示した。供試品種全体では、相関係数は0.525で1%水準の有意な正の相関関係が認められた。また、原産地別にみると、日本栽培種・系統と日本在来種で有意な正の相関関係が認められたが、その他の原産地では有意な相関関係は認められなかった(図表省略)。

低温乾燥土中出芽検定での出芽速度と播種後35日目の地上部乾物重との関係を第1図Bに示した。供試品種全体では相関係数は0.871で1%水準の有意な正の相関関係が認められた。また、原産地別にみると、いずれの原産地においても有意な正の相関関係が認められた(図表省略)。



第1図 出芽速度と播種後35日目の出芽率および地上部乾物重との関係。

○：日本栽培種・系統，△：日本在来種，●：韓国・中国・台湾，▲：その他アジア・アフリカ，×：アメリカ，+：イタリア・ロシア，**は1%水準で有意であることを示す。



第2図 鞘葉伸長速度、千粒重、籾の長幅比および発芽速度と出芽速度との関係。

○：日本栽培種・系統，△：日本在来種，●：韓国・中国・台湾，▲：その他アジア・アフリカ，×：アメリカ，+：イタリア・ロシア，**は1%水準，*は5%水準で有意であることを示す。

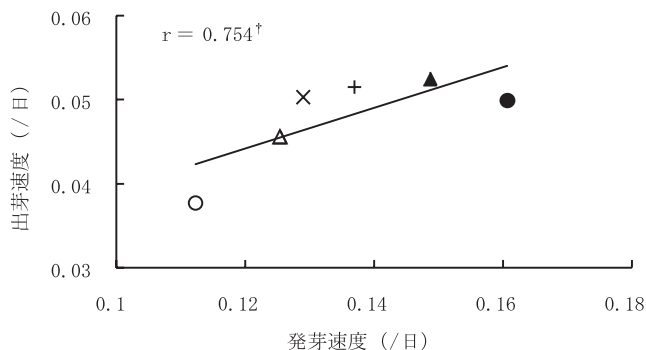
嫌気条件における鞘葉伸長速度と低温乾燥土中出芽検定での出芽速度との関係を第2図Aに示した。供試品種全体では有意な相関関係は認められなかった。また、原産地別にみると、いずれの原産地においても有意な相関関係は認められなかった(図表省略)。

種子千粒重と低温乾燥土中出芽検定での出芽速度との関係を第2図Bに示した。供試品種全体では相関係数は0.184で5%水準の有意な正の相関関係が認められた。一方、原産地別にみると、いずれの原産地においても有意な相関関係は認められなかった(図表省略)。

初長の幅比と低温乾燥土中出芽検定での出芽速度との関係を第2図Cに示した。供試品種全体では相関係数は0.354で1%水準の有意な正の相関関係が認められた。一方、原産地別にみると、いずれの原産地においても有意な相関関係は認められなかった(図表省略)。

低温発芽条件における発芽速度と低温乾燥土中出芽検定での出芽速度との関係を第2図Dに示した。供試品種全体では相関係数は0.443で1%水準の有意な正の相関関係が認められた。また、原産地別にみると、日本栽培種・系統では有意な正の相関関係が認められたが、その他の原産地では有意な相関関係は認められなかった(図表省略)。

原産地別の発芽速度と出芽速度との関係を第3図に示し



第3図 原産地別の発芽速度と出芽速度との関係。

○：日本栽培種・系統，△：日本在来種，●：韓国・中国・台湾，▲：その他アジア・アフリカ，×：アメリカ，+：イタリア・ロシア。記号は原産地別の平均値を示し，†は10%水準で有意であることを示す。

た。相関係数は0.754で10%水準の有意な正の相関関係が認められた。

乾田直播および湛水直播において出芽性が優れる品種グループの形質比較を第3表に示した。両品種グループとも出芽・苗立ち率，地上部乾物重，出芽速度，千粒重，低温発芽速度は供試品種全体の平均値に比べて優れている傾向を示した。また，両品種グループ間で異なる形質についてみると，初長の幅比は，乾田直播良出芽品種・系統では供試品種全体の平均値に比べて大きい傾向となり，湛水直播良出芽品種・系統では供試品種全体の平均値に比べて小さい傾向を示した。さらに，低温嫌気条件での鞘葉伸長速度は，乾田直播良出芽品種・系統では供試品種全体の平均値に比べて遅く，湛水直播良出芽品種・系統では供試品種全体の平均値に比べて速い傾向を示した。

考 察

湛水土中直播栽培では暖地(古畑ら2007)，寒冷地(古畑ら2012)ともに発芽速度が最終的な出芽率および地上部乾物重との間に有意な正の相関関係があることが報告されている。本研究の結果，低温乾燥土中出芽検定での出芽速度が播種後35日目の出芽率および地上部乾物重と有意な正の相関関係を示しており(第1図)，乾田直播栽培の出芽の遅速は湛水土中直播栽培と同様に最終的な出芽率や初期生育量に影響することが示唆された。また，出芽の遅速に寄与する形質を明らかにすることは，乾田直播栽培の出芽・苗立ちを向上させるために重要であると考えられたため，以下でさらに考察を行った。

湛水土中直播栽培では，嫌気発芽条件での鞘葉の伸長の良否が出芽の遅速を通して最終的な出芽・苗立ち率に大きく影響すること(古畑ら2007, 2012)が報告されている。一方，本研究で供試品種全体および原産地別に解析した結果，低温嫌気条件での鞘葉伸長速度と低温乾燥土中出芽検定での出芽速度との間には有意な相関関係はともに認められなかった(第2図A)。乾田直播栽培の土壌中は播種後の降雨等によって冠水条件とならない限り種子周辺に酸素が供給される好气的条件であること(井之上ら1967)も考慮すると，嫌気条件での鞘葉の伸長性は乾田直播栽培の出芽・苗立ち向上に寄与していないと判断された。

第3表 乾田直播および湛水直播において出芽性が優れる品種の形質解析。

| 品種・系統 | 出芽率 (%) | 苗立ち率 (%) | 地上部乾物重 (mg/ 個体) | 出芽速度 (/ 日) | 千粒重 (g) | 初長幅比 | 低温発芽速度 (/ 日) | 鞘葉伸長速度 (mm/ 日) |
|--------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 乾田直播良出芽品種・系統 | 94.8 ^a | 94.8 ^a | 8.54 ^a | 0.053 ^a | 30.9 ^a | 2.51 ^a | 0.13 ^a | 0.35 ^a |
| 湛水直播良出芽品種・系統 | 82.4 ^b | 82.4 ^b | 8.09 ^a | 0.049 ^a | 31.4 ^a | 2.25 ^b | 0.15 ^a | 0.66 ^a |
| 供試品種全体平均 | 73.2 | 72.9 | 5.11 | 0.045 | 29.1 | 2.32 | 0.12 | 0.46 |

乾田直播良出芽品種・系統：「Arroz da Terra」，「Gaiya Rate Bhasunamathe」，「Yabani Pearl」，「中国飼189号」，「ニシアオバ」，「ミサトハタモチ」，「リーフスター」。湛水直播良出芽品種・系統：「Arroz da Terra」，「ASD1」，「Italica Livorno」，「Ta Hung Ku」，「北陸PL3」，「関東PL13」，「越南242号」。太字は供試品種全体の平均値に比べて数値が大きいことを示す。同一英文字は，各項目について異なる品種グループ間で5%水準の有意差が無いことを示す(対応のないt検定)。

本研究では、供試品種全体で種子千粒重と低温乾燥土中出芽検定での出芽速度との間に5%水準で有意な正の相関関係が認められた(第2図B)。これに関して、湛水直播栽培で種子千粒重と出芽との関係について、有意な相関関係が認められた事例(齋藤ら1995)や有意な相関関係が認められなかった事例(趙・高橋1999)など異なる傾向が報告されており、種子千粒重と出芽との関係は明確にされていない。本研究では、種子千粒重と低温乾燥土中出芽検定での出芽速度との間には有意な相関関係が認められたものの、相関係数は0.184と小さいことから、種子千粒重の乾田直播栽培の出芽性向上への寄与程度は小さいと考えられた。

本研究では、供試品種全体で初め長幅比と低温乾燥土中出芽検定での出芽速度との間に1%水準で有意な正の相関関係が認められた(第2図C)。これに関して、玄米長幅比と湛水土中出芽率との間には負の有意な相関関係が認められたこと(太田ら2003)などの結果をあわせると、短粒である日本型品種は湛水土中出芽性に優れ、長粒であるインド型品種は乾田土中出芽性が優れている可能性が考えられる。また、本研究で供試した原産地別の出芽・苗立ちについてみると、日本栽培種・系統は、韓国・中国・台湾、アメリカ、イタリア・ロシアの品種グループに比べて、出芽速度、出芽率、苗立ち率、地上部乾物重のいずれも有意に小さかった(第2表)。これらの結果は、国外の品種の乾田土中出芽性は国内の品種に比べて優れているものが多いことを示唆しており、今後、乾田土中出芽性に優れた遺伝資源を用いた交配によって乾田土中出芽性に優れた品種育成が期待される。

本研究において湛水直播条件で出芽が優れる品種グループと乾田直播条件で出芽が優れる品種グループの形質を解析比較した結果、両品種グループとも多くの形質が供試品種全体の平均値に比べて優れていた。また、両品種グループ間では、初め長幅比および低温嫌気条件での鞘葉伸長速度について傾向が異なった(第3表)。初め長幅比では、供試品種全体の平均値に比べて乾田直播条件で出芽が優れる品種グループは大きく(より長粒である)、湛水直播条件で出芽が優れる品種グループは小さかった(より短粒である)。一方、低温嫌気条件での鞘葉伸長速度では、供試品種全体の平均値に比べて乾田直播条件で出芽が優れる品種グループは遅く、湛水直播条件で出芽が優れる品種グループは速かった(第3表)。これらの結果は、長粒であるインド型品種は乾田直播条件での出芽性に優れること、嫌気条件での鞘葉伸長性は乾田直播条件の出芽の良否には寄与していないことを示唆しており、第2図A、Cの結果と矛盾していなかった。

本研究の結果、供試品種全体では低温発芽条件での発芽速度と乾田直播条件での出芽速度との間に有意な正の相関関係が認められ(第2図D)、今回調査した4つの形質の中では、発芽速度が乾田直播条件での出芽速度との関係性が最も高かった。これに関して、白土ら(1998)は、20%

発芽日数と乾燥土壌条件での20%出芽日数、乾燥土壌条件での幼芽の伸長速度と20%出芽日数との間にはそれぞれ有意な正の相関関係があったことを報告している。さらに、原産地別の発芽速度と出芽速度との間にも正の相関関係が認められた(第3図)。これらの結果から、寒冷地での乾田直播栽培では、低温条件での発芽の遅速が出芽の遅速を通して最終的な出芽・苗立ちに影響すること、低温発芽性が優れる品種は寒冷地での乾田直播栽培で出芽が速いことが示唆された。

低温発芽性については多くの研究があり、日本品種内での変異は小さく、この改良には広範な遺伝資源の利用が不可欠であること(櫛淵1981, 小林1992, 堀末1995)、高緯度地帯の品種は、低緯度地帯の品種に比べて低温発芽性が優れること(永松1943, 西川・三上1946, 輪田1948, 岡1954, 李・田口1969)が報告されている。一方、本研究の結果、原産地別の低温条件での発芽速度は、韓国・中国・台湾>その他アジア・アフリカ>イタリア・ロシア>アメリカ>日本在来種>日本栽培種・系統の順番となり(第3図)、上記報告と傾向は異なった。これに関して、三浦(2003)は、過去に低温発芽性が優れるとされた品種グループ内では低温発芽性が優れる品種が多かったとする一方、過去に低温発芽性が劣ると評価された品種グループ内でインド、中国、韓国のインド型品種が低温発芽性改善の母本として育種で広く利用されている「Italica Livorno」(イタリア)、「Arroz da Terra」(ポルトガル)と同等の低温発芽性を示したことを報告している。これらの結果・報告から、韓国・中国・台湾を含むアジア地域には低温発芽性改善の母本に利用可能な遺伝資源があると考えられ、これら遺伝資源を利用して低温発芽性を改善した品種を育成することによって、寒冷地における乾田直播栽培の出芽・苗立ちを確保し易くなることが考えられた。

謝辞：本研究の材料として、農林水産省ジーンバンクより3品種(Danahila, Gaiya Rate Bhasunamathe, Lakhi Jhota)の種子を提供して頂いた。また、本研究の遂行に当たり、丸山義明氏、廣川誠氏および研究スタッフの渡辺梅子さんにご協力頂いた。ここに記して感謝の意を表する次第である。

引用文献

- 愛知県農業試験場 2007. 不耕起V溝直播栽培の手引き(改訂4版). <http://www.pref.aichi.jp/nososi/seika/singijutu/singijiyutu74-4-7.pdf> (2015/04/02 閲覧).
- Biswas, J.K. and Yamauchi, M. 1997. Mechanism of seedling establishment of direct-seeded rice (*Oryza Sativa* L.) under lowland conditions. Bot. Bull. Acad. Sin. 38: 29-32.
- 古畑昌巳・岩城雄飛・有馬進 2007. 出芽速度および嫌気条件下における鞘葉の伸長速度が湛水直播水稻の出芽・苗立ちに及ぼす影響. 日作紀 76: 10-17.
- 古畑昌巳・帖佐直・大角壮弘・松村修 2012. 寒冷地で湛水土中に播種された水稻の初期生育に関連した品種特性の評価. 日作紀 81: 10-17.

- 萩原素之 1993. 水稻の湛水土壤中直播における出芽・苗立ちに関する研究. 石川農短大特報 20: 1-103.
- 堀末登 1995. 直播適性水稻品種の開発. 直播稲作研究の最前線 2. 農林水産技術情報協会, 東京 115-131.
- 井之上準・穴山彊 1971. 水稻直播栽培における出芽に関する研究 第4報 水稻幼芽の抽出力. 日作紀 40: 415-419.
- 井之上準・穴山彊・片山佃 1967. 水稻直播栽培における出芽に関する研究 第2報 出芽に及ぼす冠水の影響. 日作紀 36: 25-31.
- 井之上準・片山佃 1966. 水稻直播栽培における出芽に関する研究 第1報 出芽するまでの幼芽の伸長生長. 日作紀 34: 237-242.
- 井之上準・岡田芳一・片山佃 1966. 水稻直播栽培における出芽に関する研究 第3報 ストレインメーターによる幼芽抽出力の測定. 日作紀 35: 161-167.
- 海妻矩彦・佐藤和雄・沢恩 1972. 乾田直播栽培における水稻の出芽に関する遺伝学的研究 I. ダイヤレル・クロス法による日本型水稻の中茎および低位節間の伸長度に関する遺伝分析. 遺伝学雑誌 22: 172-179.
- 小林陽 1992. 直播適性日本の稲育種. 農業技術協会, 東京 243-252.
- 小高真一・安部信行 1988. 低温条件下におけるイネの高出芽性品種の検索. 農業技術 43: 21-24.
- 櫛淵欽也 1981. 直播栽培におけるイネ品種の生態と育種への応用. 農事試験報 35: 1-50.
- 李弘拓・田口啓作 1969. 稲種子の低温発芽性に関する研究 第1報 低温発芽性の品種間差異および親植物の栽培環境の影響. 北海道大学農学部邦文紀要 7: 63-71.
- 三浦清之 2003. 水稻直播適性品種育成のための種子発芽性および苗立ち性に関する遺伝育種学的研究. 生物研研究資料 2: 1-44.
- 永松土巳 1943. 種生態學に見たる發芽性の分化に就いて. 遺伝学雑誌 19: 47-56.
- 西川五郎・三上藤三郎 1946. 低温発芽に関し日本, 水稻梗, 中国水稻梗, 同仙及び印度稻の比較. 日作紀 15: 38-41.
- 農林水産省 2014a. 農業経営統計調査 平成 24 年産米生産費. http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/noukei/seisanhi_nousan/index.html#r (2015/04/02 閲覧).
- 農林水産省 2014b. 最新の直播の状況 (24 年産). http://www.maff.go.jp/j/seisan/ryutu/zikamaki/z_genzyo/pdf/zikamaki_zyoukyou.pdf (2015/04/02 閲覧).
- Ogiwara, H. and Terashima, K. 2001. A varietal difference in coleoptile growth is correlated with seedling establishment of direct seeded rice in submerged field under low-temperature conditions. Plant Prod. Sci. 4: 166-172.
- 太田久稔・井辺時雄・吉田智彦 2003. 水稻の湛水土中直播栽培における土中出芽性の新たな検定方法と土中出芽性の遺伝資源. 日作紀 72: 295-300.
- 太田久稔・笹原英樹・小牧有三・上原泰樹・安東郁男・井辺時雄・吉田智彦 2004. 水稻の湛水直播栽培における土中出芽性に優れた系統の選抜・育成. 日作紀 73: 450-456.
- 岡彦一 1954. 稲種子の発芽最低温度と温度恒数の品種間差違. 育種 4: 140-144.
- 齋藤邦行・佐藤貴之・黒田俊郎 1995. 深水下における水稻種子の出芽・苗立ち性の品種間差異. 日作紀 64(別 2): 37-38.
- 佐々木多喜雄 1968. 水稻品種の低温発芽性と初期生育との関係. 北海道立農試集報 17: 34-45.
- 沢恩・泉館正彦・飯田行生・海妻矩彦 1972. 乾田直播における水稻の出芽に関する遺伝学的研究 II. 深播条件下における出芽率の品種間差異と乾田直は栽培用品種の育成について. 岩手大農報 10: 269-283.
- 白土宏之・松葉捷也 1996a. 乾燥土壤中における水稻種子の出芽性に関与する形質の評価 1. 初め吸水から出根初期までの生育過程における解析. 日作紀 65(別 1): 124-125.
- 白土宏之・松葉捷也 1996b. 乾燥土壤中における水稻種子の出芽性に関与する形質の評価 2. 出根初期から出芽までの生長過程における解析. 日作紀 65(別 1): 126-127.
- 白土宏之・森田敏・高梨純一 1998. イネ品種の乾燥土壤中における出芽過程および器官別水ポテンシャルの品種間差. 日作紀 67(別 1): 136-137.
- Shiratsuchi H., Morita, S. and Takanashi, J. 2001. Differences in the rate of seedling emergence among rice cultivars under low soil-moisture conditions. Plant Prod. Sci. 4: 94-102.
- 高橋萬右衛門 1977. イネの低温障害に関する育種学的研究: 特に発芽期と生殖生長期における耐冷性の遺伝解析 (稲の交雑に関する研究 第 LXV 報). 北海道大学農学部農場研究報告 20: 1-15.
- 滝田正 1987. アメリカ稲と日本稲の直播苗立ちの差異. 日作九支報 54: 9-11.
- 田野井真・富田桂・小林麻子・林猛 2011. 優れた土中出芽性を有する水稻系統の育成. 北陸作報 46: 4-8.
- 東北農業研究センター・岩手県農業研究センター 2014. 乾田直播栽培技術マニュアル Ver.2.3 プラウ耕・グレーンドリル播種体系. http://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/publication/pamphlet/tech-pamph/030716.html (2015/04/02 閲覧).
- 輪田潔 1948. 原産地を異にせる稲種子の発芽に及ぼす低温の影響に就いて. 日作紀 18: 38-39.
- 山末祐二 2001. 雑草科学実験法 雑草の形態・生理・生態に関する調査 第1章 雑草の生物・生態に関する試験 第2節 雑草の形態・生理・生態に関する調査 第4項 種子の休眠・発芽調査法. ニッセイエプロ, 東京. 54-55.
- 趙志超・高橋清 1999. 栽培イネ (*Oryza sativa* L.) の出芽・苗立ちに関与する 2, 3 の要因. 日作紀 68: 379-384.

Evaluation of Seedling Emergence and Establishment Characteristics of Rice with Direct Sowing Culture on Well-Drained Paddy Field in Cold Climate Areas : Masami FURUHATA (*NARO Agricultural Research Center Hokuriku Research Center, Joetsu 943-0193, Japan*)

Abstract : Seedling emergence was examined in direct sowing culture on well-drained paddy fields at low temperatures. Germination characteristics were assessed under aerobic conditions and coleoptile elongation under anaerobic conditions associated with seedling emergence. The experiments included 138 domestic and foreign rice cultivars. The speed of seedling emergence was positively correlated with the final seedling emergence rate and early plant growth. The speed of coleoptile elongation under anaerobic conditions was not correlated with the speed of seedling emergence, suggesting that coleoptile elongation under anaerobic conditions was not related to seedling emergence. The speed of germination was positively correlated with the speed of seedling emergence, suggesting that the speed of germination affects the speed of seedling emergence and consequently the final seedling emergence rate and early plant growth. I concluded that early germination was important for seedling emergence and establishment in direct sowing culture on well-drained paddy fields at low temperatures.

Key words : Cold climate area, Direct sowing culture of paddy rice on well-drained paddy field, Germination, Rice, Seedling emergence, Variety.
